

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-329650

(43)Date of publication of application : 30.11.2000

(51)Int.Cl.

G01M 11/02

(21)Application number : 11-137881

(71)Applicant : ADVANTEST CORP

(22)Date of filing : 18.05.1999

(72)Inventor : IMAMURA MOTONORI
SATOMURA HIROAKI

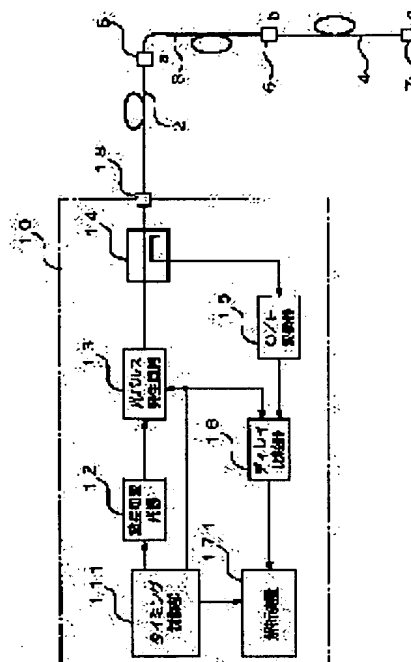
(54) APPARATUS FOR MEASURING WAVELENGTH DISPERSION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To measure a wavelength dispersion at a specific point of an optical transmission line or in a specific transmission path formed of optical fibers after laid.

SOLUTION: When an optical pulse of a predetermined wavelength is brought into an optical transmission line, a reflecting light and a back scattering light reflected and scattered at each of connect parts 5 and 6 and an optical fiber leading end part 7 return. The return light is detected and a delay amount of the return light is measured by a wavelength dispersion measurement apparatus 10. The delay amount corresponds to a time before the optical pulse brought into the optical fiber to be measured returns after reflected and scattered at each connect part 5, 6 and the optical fiber leading end part 7. A delay amount generated when the optical pulse passes each optical fiber set between the connect parts can be measured on the basis of the time. The wavelength dispersion measurement apparatus 10

measures the delay amounts while varying a wavelength for every predetermined unit, sequentially measures the delay amounts at predetermined wavelengths, differentiates the delay amounts by the wavelengths, thereby measuring a dispersion at the predetermined wavelengths.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

(11)特許出願公開番号

特開2000-329650

(P2000-329650A)

(43)公開日 平成12年11月30日(2000.11.30)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

FI

テ-マコ-ト* (参考)

G O 1 M 11/02

G O 1 M 11/02

K

審査請求 未請求 請求項の数16 O.L (全 18 頁)

(21)出願番号 特願平11-137881

(22)出願日 平成11年5月18日(1999.5.18)

(71)出願人 390005175

株式会社アドバンテスト

東京都練馬区旭町1丁目32番1号

(72) 発明者 今村 元規

東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式会社アドバンテスト内

(72)発明者 里村 裕明

東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式会社アドバンテスト内

(74) 代理人 100103171

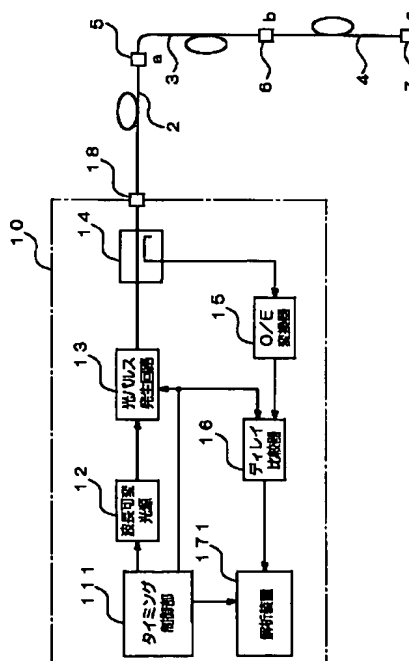
弁理士 雨貝 正彦

(54) 【発明の名称】 波長分散測定装置

(57)【要約】

【課題】 敷設後の光ファイバによって形成される光伝送路の特定箇所又は特定の伝送経路における波長分散を測定できるようにする。

【解決手段】 光伝送路に所定波長の光パルスを入射すると、各接続部５、６や光ファイバ先端部７で反射及び散乱した反射光や後方散乱光が戻って来るので、波長分散測定装置１０は、その戻り光を検出し、その戻り光の遅延量を測定する。この遅延量は被測定光ファイバに入射した光パルスが各接続部５、６及び光ファイバ先端部７で反射及び散乱して戻ってくるまでの時間に対応しており、それに基づいてさらに接続部間に設けられた個々の光ファイバを通過することによって生じる遅延量を測定することができる。波長分散測定装置１０は、これらの遅延量の測定を波長を所定単位毎に可変しながら行い、所定波長における遅延量を順次測定し、その遅延量を波長で微分して所定波長における分散を測定する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定の波長を有する光パルスが被測定光ファイバの一方端に入射する光パルス生成手段と、前記光パルスに対応して前記被測定光ファイバの一方端から出射される戻り光を検出する光検出手段と、前記光検出手段によって検出された前記戻り光の遅延量を測定する遅延量測定手段と、前記遅延量測定手段によって測定された前記戻り光の遅延量と、前記光パルス生成手段から前記被測定光ファイバに入射された前記光パルスの波長とに基づいて、前記被測定光ファイバの波長分散を求める解析手段と、を備えることを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 2】 請求項 1 において、前記光パルス生成手段は、前記光パルスの波長を変更可能であることを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 において、前記遅延量測定手段は、前記遅延量の測定対象となるアナログ信号をデジタルデータに変換するアナログ-デジタル変換器を含んでおり、変換後のデジタルデータを用いたデジタル演算によって前記遅延量を求めることを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 4】 請求項 1～3 のいずれかにおいて、前記遅延量測定手段によって複数回測定された遅延量に対して同期加算を行う同期加算手段をさらに備えることを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 5】 請求項 1～4 のいずれかにおいて、前記光検出手段によって検出される前記戻り光の強度を測定する強度測定手段をさらに備えることを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 6】 請求項 5 において、前記強度測定手段は、包絡線検波器で構成されることを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 7】 請求項 1～5 のいずれかにおいて、前記光パルス生成手段から出力される前記光パルスは、所定の強度を有するパルス光であり、前記遅延量測定手段は、前記光パルスが前記光パルス生成手段から出射されてから前記戻り光が前記光検出手段によって検出されるまでの時間を遅延量として測定することを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 8】 請求項 7 において、前記光パルス生成手段は、所定波長の光を出力するレーザ光源と、前記レーザ光源から出力される光を所定時間通過させることにより前記パルス光を出射する光パルス発生部と、前記光パルス発生部によって光を通過させる前記所定時間を指定するタイミング制御部とを備えることを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 9】 請求項 1～6 のいずれかにおいて、前記光パルス生成手段から出力される前記光パルスは、所定波長の光を所定周波数の変調信号を用いて強度変調された光であり、

前記光検出手段は、前記戻り光の強度に対応した電気的な検出信号を出力する光-電気変換器であり、前記遅延量測定手段は、前記戻り光に対応する前記検出信号と前記変調信号との間の位相差に基づいて前記遅延量を測定することを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 10】 請求項 9 において、前記光パルス生成手段は、所定波長の光を出射するレーザ光源と、前記レーザ光源から出射される光に対して前記変調信号に基づいて強度変調を行う変調器と、前記変調信号を発生して前記変調器に入力する発振器とを備えることを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 11】 請求項 1～6 のいずれかにおいて、前記被測定光ファイバに入射される前記光パルスは、前記光パルス生成手段から出射される所定波長の光パルスが所定周波数の変調信号によって周波数変調されたコヒーレント光であり、

前記光検出手段は、前記戻り光である前記コヒーレント光に対して前記光パルス生成手段から出射された所定波長の光パルスを用いてヘテロダイン検波を行うことにより、前記変調信号と同じ周波数の電気的な検出信号を出力するヘテロダイン検波器で構成され、

前記遅延量測定手段は、前記ヘテロダイン検波器から出力される前記検出信号と前記変調信号との間の位相差に基づいて前記遅延量を測定することを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 12】 請求項 11 において、前記光パルス生成手段は、所定波長の光を出力するレーザ光源と、前記レーザ光源から出力される光に対して前記変調信号に基づいて周波数変調を行う周波数シフタと、前記変調信号を発生して前記周波数シフタに入力する発振器とを備えることを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 13】 請求項 11 または 12 において、前記被測定光ファイバは、下り線と上り線とを有するループバック方式を用いた光ファイバアンプ中継線路で構成され、

前記所定周波数の変調信号によって周波数変調することによって生成された前記コヒーレント光を前記光ファイバアンプ中継線路の下り線に入射するとともに、前記光ファイバアンプ中継線路の上り線の出射端に現れる前記戻り光である前記コヒーレント光を用いて波長分散の測定を行うことを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 14】 請求項 13 において、前記光パルス生成手段は、所定期間のみ前記コヒーレント光を出力し、前記所定期間以外については前記コヒーレント光とはほぼ等しい光強度を有する一定波長の非コヒーレント光を出射しており、

前記ヘテロダイン検波器から出力される前記検出信号に対して前記変調信号の周波数近傍の信号のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに備えることを特徴とする波

長分散測定装置。

【請求項 15】 請求項 11 において、前記光パルス生成手段から出射される前記光パルスの波長を測定する波長測定手段をさらに備えることを特徴とする波長分散測定装置。

【請求項 16】 請求項 15 において、前記波長測定手段は、前記光パルスの波長に近い所定の波長を有する基準光を出力する基準光生成手段と、前記基準光生成手段から出力される前記基準光を用いて前記光パルス生成手段から出力される前記光パルスに対するヘテロダイン検波を行って、前記基準光と前記光パルスのそれぞれの波長の差分相当の周波数を有する差信号を出力する差信号出力手段と、前記差信号の周波数を測定する周波数測定器と、を備えることを特徴とする波長分散測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバを用いて構成された光通信システムにおいて、伝送路内を伝搬する光パルスの特定箇所又は特定の伝送経路における波長分散を測定する波長分散測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバに入射された光パルスは、光ファイバの屈折率分布、光源のスペクトル幅、光ファイバの材料の分散性に依存した波形歪みを生じるため、受信側で受信された光パルスの波形が全体的に広がったようになる。このような現象を光ファイバの分散という。光ファイバの分散には、その要因に応じて、多モード分散、材料分散、導波路分散（構造分散）、偏波モード分散が存在する。これらの分散の中で、特に材料分散と導波路分散を合成したものを波長分散という。材料分散は、光ファイバの材料の屈折率が光の波長に対応して変化することによって生じるものである。導波路分散は、光ファイバの材料とは無関係のものであり、光ファイバの導波路の構造によって光ファイバ内を伝搬する光の伝搬速度が波長毎に異なるために生じるものである。

【0003】波長分散測定装置は、このような光ファイバの分散特性を正確に測定するものである。従来から知られている波長分散測定装置は、パルス法（時間領域法）と位相法（周波数領域法）によって光ファイバの波長分散を測定するものが存在する。パルス法を用いた波長分散測定装置は、被測定光ファイバに光パルスを入射し、そこから出射した光パルスの群遅延時間差を直接測定し、それに基づいて波長分散を測定するものである。位相法を用いた波長分散測定装置は、周波数 f の正弦波変調された 2 つの波長 λ_1 及び λ_2 の光を被測定光ファイバに入射し、そこから出射した光パルスの位相差に基づいて群遅延時間を測定するものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来の波長分散測定装置は、被測定光ファイバの一端側から光パルスを入射し、その他端側から出射する光パルスに基づいて測定する透過法と呼ばれる方法で波長分散を測定していた。従って、従来の波長分散測定装置は、透過法による測定が可能な状態の敷設前の光ファイバに対して波長分散の測定を行うことが多い。なお、敷設後の光ファイバに対しては、光パルスの入射側と出射側が比較的近距离の場合に限って、透過法による測定が行われていた。

【0005】一般的に、敷設前の光ファイバは長尺なので、波長分散の測定は巻き取られた光ファイバに対して行われていた。巻き取られた状態の光ファイバは実際の敷設状態とは異なる応力が加わったりしているので、その測定結果は敷設後の光ファイバが示す波長分散とは異なった値を示し、事実上敷設後の光ファイバに対しては正確な波長分散を測定することはできないのが現状であった。

【0006】また、光ファイバの波長分散を透過法を用いて測定した場合、その測定結果は光伝送路全体に対する波長分散に過ぎず、その光伝送路の途中箇所における波長分散を測定しようとしても、透過法では測定することはできなかった。すなわち、光ファイバの敷設された光伝送路に対して透過法を用いて測定したとしても、その測定結果は敷設後の光ファイバによって形成された伝送路全体の波長分散を測定したことに過ぎず、各中継地点や各区間を構成する光ファイバの波長分散を測定することはできなかった。

【0007】最近では、幅の細い光パルスを用いて伝送レートの向上を図ろうとしているが、この場合、光伝送路の非線形的な現象によって結果的に光パルスの幅が広がってしまい、伝送レートをあげることが困難であった。そこで、光伝送路内に所定の波長分散を有する光ファイバを故意に挿入し、その通過後の光パルスに対して逆補償を行うような補償デバイスをさらに挿入して非線形的な現象を抑制するという方法が行われている。しかしながら、各区間の光ファイバの波長分散を制御するためには、敷設後の実際の光ファイバが示す波長分散を正確に測定できなければ、どの箇所にどのような特性の補償デバイスを設けてよいのかが分からないので、敷設後の光ファイバの実際の波長分散を測定する必要性は非常に高かった。また、光伝送路の各区間には光アンプ等が配置されているが、これらの光アンプに分散特性を有しないものを用いるとノイズの影響が非常に強くなるので、ある程度の分散特性を有する光アンプを用いて、その位相補償をその後段側で行っている。従って、敷設後の光伝送路に配置された各光アンプの分散特性を測定する必要性もあった。また、敷設後の光ファイバがどのような波長分散特性を示すのか実際に知らないと、どこまで伝送レートを上げることができるのか、そのシミュレーションを行うこともできなかった。

【0008】本発明は、このような点に鑑みて創作されたものであり、その目的は、敷設後の光ファイバによって形成される光伝送路の特定箇所又は特定の伝送経路における波長分散を測定することのできる波長分散測定装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上述した課題を解決するために、請求項1に記載された波長分散測定装置は、所定の波長を有する光パルスを被測定光ファイバの一方端に入射する光パルス生成手段と、前記光パルスに対応して前記被測定光ファイバの一方端から出射される戻り光を検出する光検出手段と、前記光検出手段によって検出された前記戻り光の遅延量を測定する遅延量測定手段と、前記遅延量測定手段によって測定された前記戻り光の遅延量と、前記光パルス生成手段から前記被測定光ファイバに入射された前記光パルスの波長とに基づいて、前記被測定光ファイバの波長分散を求める解析手段と、を備えるものである。被測定光ファイバは、複数の光ファイバがコネクタ接続部などを介して接続されたものである。このような被測定光ファイバに所定波長の光パルスを入射すると、各接続部や光ファイバ先端部で反射及び散乱した反射光や後方散乱光が戻って来るので、その戻り光を光検出手段で検出し、その戻り光の遅延量を遅延量測定手段で測定することによって、被測定光ファイバに入射した光パルスが各接続部及び光ファイバ先端部で反射及び散乱して戻ってくるまでの遅延量を測定することができる。また、このようにして測定された各接続部までの遅延量に基づいて、接続部間に設けられた個々の光ファイバを通過することによって生じる遅延量も測定することができる。そこで、これらの遅延量の測定を波長を所定単位毎に変えながら行い、所定波長における遅延量を順次測定し、その遅延量を所定波長で微分して所定波長における分散を測定する。このとき、遅延量が各接続部で反射及び散乱した戻り光に対応するものである場合は、その地点における波長分散が測定でき、遅延量が各光ファイバを通過することによって生じたものである場合は、その光ファイバ自身の波長分散を測定することができる。

【0010】請求項2に記載された波長分散測定装置は、前記請求項1に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段が、前記光パルスの波長を変更可能である。この発明は、例えば、1520nm～1580nmの間で波長を1nmや0.1nm単位で変化させたり、1300nm～1600nmの間で30nm単位で変化させたりできるので、その測定精度を種々変更することができる。

【0011】請求項3に記載された波長分散測定装置は、前記請求項1または2に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記遅延量測定手段が、前記遅延量の測定対象となるアナログ信号をデジタルデータに

変換するアナログ-デジタル変換器を含んでおり、交換後のデジタルデータを用いたデジタル演算によって前記遅延量を求めるものである。光検出手段によって検出された戻り光はアナログ信号なので、これに基づいて遅延量を測定するとなると回路構成が複雑となるので、この発明は、アナログ-デジタル変換器で一旦デジタル信号に変換することによって、その後はそのデジタル信号を記憶し、これに基づいて遅延量の測定などを行うようにした。

10 【0012】請求項4に記載された波長分散測定装置は、前記請求項1～3に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記遅延量測定手段によって複数回測定された遅延量に対して同期加算を行う同期加算手段をさらに備えるものである。一回の測定によって遅延量を算出した場合だと、測定結果に誤差が多く含まれる場合があるので、この発明は同期加算することによってその測定精度を向上するようにした。

20 【0013】請求項5に記載された波長分散測定装置は、前記請求項1～4に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記光検出手段によって検出される前記戻り光の強度を測定する強度測定手段をさらに備えるものである。この発明は、波長分散を測定すると同時に、戻り光の強度に基づいて通常のOTDR測定装置と同様の光ファイバの損失等を測定するようにしたものである。

30 【0014】請求項6に記載された波長分散測定装置は、前記請求項5に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記強度測定手段が、包絡線検波器で構成されるものである。この発明は、包絡線検波器によって通常のOTDR測定装置と同様の光ファイバの損失などを測定するようにしたものである。

40 【0015】請求項7に記載された波長分散測定装置は、前記請求項1～5に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段から出力される前記光パルスは、所定の強度を有するパルス光であり、前記遅延量測定手段は、前記光パルスが前記光パルス生成手段から出射されてから前記戻り光が前記光検出手段によって検出されるまでの時間を遅延量として測定することを特徴とするものである。この発明は、所定強度の光パルスを用いているので、光ファイバの減衰特性によってどの程度の強度の光パルスが戻り光として戻ってくるかが分かる。また、この発明は、光パルスが光パルス生成手段から出射されてから光検出手段で検出されるまでの時間を遅延量としているので、光パルス生成手段に入力されるタイミング信号を基準にして容易に遅延量を測定することができる。

50 【0016】請求項8に記載された波長分散測定装置は、前記請求項7に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段が、所定波長の光を出力するレーザ光源と、前記レーザ光源から出力され

る光を所定時間通過させることにより前記パルス光を出射する光パルス発生部と、前記光パルス発生部によって光を通過させる前記所定時間を指定するタイミング制御部とを備えるものである。この発明は、光パルス生成手段を具体的に限定したものであり、光パルスはタイミング制御部によって指定された所定時間だけ出射されるので、このタイミング制御部が光パルス発生部に所定時間を指定したタイミングを基準にして遅延量の測定を行うことができる。

【0017】請求項9に記載された波長分散測定装置は、前記請求項1～6に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段から出力される前記光パルスは、所定波長の光を所定周波数の変調信号を用いて強度変調された光であり、前記光検出手段は、前記戻り光の強度に対応した電気的な検出信号を出力する光-電気変換器であり、前記遅延量測定手段は、前記戻り光に対応する前記検出信号と前記変調信号との間の位相差に基づいて前記遅延量を測定するものである。この発明は、被測定光ファイバに入射される光パルスの強度を所定周波数の変調信号によって変調することによって、戻り光の強度に対応した電気的な検出信号と変調信号との間の位相差に基づいて遅延量を測定するようにしたものである。

【0018】請求項10に記載された波長分散測定装置は、前記請求項9に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段は、所定波長の光を出射するレーザ光源と、前記レーザ光源から出射される光に対して前記変調信号に基づいて強度変調を行う変調器と、前記変調信号を発生して前記変調器に inputs する発振器とを備えるものである。この発明は、請求項9に

記載された光パルス生成手段を具体的に限定したものである。

【0019】請求項11に記載された波長分散測定装置は、前記請求項1～6に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記被測定光ファイバに入射される前記光パルスは、前記光パルス生成手段から出射される所定波長の光パルスが所定周波数の変調信号によって周波数変調されたコヒーレント光であり、前記光検出手段は、前記戻り光である前記コヒーレント光に対して前記光パルス生成手段から出射された所定波長の光パルスを用いてヘテロダイン検波を行うことにより、前記変調信号と同じ周波数の電気的な検出信号を出力するヘテロダイン検波器で構成され、前記遅延量測定手段は、前記ヘテロダイン検波器から出力される前記検出信号と前記変調信号との間の位相差に基づいて前記遅延量を測定するものである。この発明は、光パルス生成手段から出射される光パルスを周波数変調することによってコヒーレント光とし、それを被測定光ファイバに入射し、その戻り光と光パルス生成手段から出射される光パルスとをヘテロダイン検波することによって得られた検出信号と変調

信号との間の位相差に基づいて遅延量を測定するようにしたものである。

【0020】請求項12に記載された波長分散測定装置は、前記請求項11に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段が、所定波長の光を出力するレーザ光源と、前記レーザ光源から出力される光に対して前記変調信号に基づいて周波数変調を行う周波数シフタと、前記変調信号を発生して前記周波数シフタに inputs する発振器とを備えるものである。この発明は、請求項11に記載のコヒーレント光を生成する光パルス生成手段を具体的に限定したものである。

【0021】請求項13に記載された波長分散測定装置は、前記請求項11または12に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記被測定光ファイバが、下り線と上り線とを有するループバック方式を用いた光ファイバアンプ中継線路で構成され、前記所定周波数の変調信号によって周波数変調することによって生成された前記コヒーレント光を前記光ファイバアンプ中継線路の下り線に入射するとともに、前記光ファイバアンプ中継線路の上り線の出射端に現れる前記戻り光である前記コヒーレント光を用いて波長分散の測定を行うものである。この発明は、被測定光ファイバがループバック方式を用いた光ファイバアンプ中継線路で構成された場合に、その波長分散を測定する場合を具体的に限定したものである。

【0022】請求項14に記載された波長分散測定装置は、前記請求項13に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段が、所定期間のみ前記コヒーレント光を出力し、前記所定期間以外については前記コヒーレント光とはほぼ等しい光強度を有する一定波長の非コヒーレント光を出射しており、前記ヘテロダイン検波器から出力される前記検出信号に対して前記変調信号の周波数近傍の信号のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに備えるものである。この発明は、請求項13に記載の光ファイバアンプ中継線路に光パルスを入射して波長分散を測定する場合に、光アンプによって自動的にゲイン調整が行われるので、それを防止するために、光強度を一定に保持するためのローディング光を出射するとともに、光アンプによって戻り光に含まれるノイズ成分が増加するので、そのノイズ成分を有効に除去するために帯域通過フィルタを設けたものである。

【0023】請求項15に記載された波長分散測定装置は、前記請求項11に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段から出射される前記光パルスの波長を測定する波長測定手段をさらに備えるものである。この発明は、温度特性の変化や経時変化によって光パルス生成手段から出射された光パルスが所望の波長でない場合があり得るので実際に被測定光ファイバに入射される光パルスの波長を波長測定手段で測定するようにしたものである。

【0024】請求項16に記載された波長分散測定装置は、前記請求項15に記載された波長分散測定装置の一実施態様として、前記波長測定手段が、前記光パルスの波長に近い所定の波長を有する基準光を出力する基準光生成手段と、前記基準光生成手段から出力される前記基準光を用いて前記光パルス生成手段から出力される前記光パルスに対するヘテロダイン検波を行って、前記基準光と前記光パルスのそれぞれの波長の差分相当の周波数を有する差信号を出力する差信号出力手段と、前記差信号の周波数を測定する周波数測定器と、を備えるものである。この発明は、請求項15に記載の波長測定手段を具体的に限定したものである。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明を適用した一実施の形態に係る波長分散測定装置について、図面を参照しながら説明する。

【0026】〔第1の実施の形態〕本発明を適用した第1の実施の形態に係る波長分散測定装置は、光パルスを被測定光ファイバに射出し、戻ってきた光パルスの遅延量を複数種類の波長について求め、それに基づいて波長分散を測定するようにしたものである。

【0027】図1は、第1の実施の形態に係る波長分散測定装置の構成を示す図である。この実施の形態では、波長分散測定装置10を用いて、敷設済の光ファイバ2～4に関する波長分散を測定する場合について説明する。光ファイバ2の一端は溶着接続部（図示せず）を介して波長分散測定装置10の入出力端18に接続され、他端はコネクタ接続部5を介して光ファイバ3の一端に接続されている。光ファイバ3の他端はコネクタ接続部6を介して光ファイバ4の一端に接続されている。光ファイバ4の他端はファイバ先端部7を形成している。

【0028】波長分散測定装置10は、タイミング制御部111、波長可変光源12、光パルス発生回路13、光方向性結合器14、光-電気(O/E)変換器15、ディレイ比較器16、解析装置171を含んで構成される。

【0029】波長可変光源12は、光通信用として使用される基本波長1.31 μ m、1.55 μ m、1.65 μ mから前後にずれた複数の波長の光を連続的に可変して生成することができるレーザ光源である。例えば、波長可変光源12は、1520nm～1580nmの間で波長を1nmや0.1nm単位で変化させた光や、1300nm～1600nmの間で30nm単位で変化させた光などを自由に出力することができる。なお、波長可変光源12から出力される波長の値は、タイミング制御部111から出力される波長設定信号によって設定される。

【0030】光パルス発生回路13は、可変波長光源12から射出される光が入射され、その入射光の1次回折光を、タイミング制御部111から出力されるタイミン

グ信号に応じたタイミングで、光方向性結合器14に射出する。光パルス発生回路13は、図示していない音響光学変調器(AOM)、発振器、スイッチ回路等を含んで構成される。音響光学変調器は、入射光の1次回折光を発振器から出力される駆動信号の周波数に応じた回折角で射出する。発振器は、所定の超音波周波数の駆動信号を出力する。スイッチ回路はタイミング制御部111から出力されるタイミング信号に応じたタイミングで発振器から出力される所定周波数の駆動信号を音響光学変調器に印加する。これによって、光パルス発生回路13は、タイミング信号の入力タイミングに同期した光パルスを光方向性結合器14及び入出力端18を介して光ファイバ2～4に射出する。なお、波長可変光源12から射出される種々の波長の光が音響光学変調器に入射されるようになるので、光パルス発生回路13は、この音響光学変調器の回折効率が最適な値となるように駆動信号の超音波周波数及び電圧値を制御している。このように波長に応じて駆動信号の超音波周波数及び電圧値を制御するような光パルス発生回路については、本発明の発明者が別途出願しているため、ここではその説明は省略する。

【0031】タイミング制御部111は、光パルスの出力タイミングに対応したタイミング信号を光パルス発生回路13及びディレイ比較器16に、光パルスの波長に関する波長設定信号を波長可変光源12に、波長分散の解析開始信号を解析装置171にそれぞれ出力する。このタイミング信号はパルス状の信号である。光パルス発生回路13はこのタイミング信号がハイレベルの状態にあるときに光パルスを出力するので、このタイミング信号のハイレベルの状態を制御することによって、光パルスの幅を制御することができる。波長設定信号は、前述のように波長可変光源12から射出される光の波長を1520nm～1580nmの間で1nm単位で変化させる場合には、その設定内容は、1520nm、1521nm、1522nm、・・・のようなものとなり、1300nm～1600nmの間で30nm単位で変化させる場合には、その設定内容は、1300nm、1330nm、1360nm、・・・のようなものとなる。解析開始信号は、このような一連の波長設定信号による遅延量の測定が終了した時点で出力されるものである。

【0032】光方向性結合器14は、光パルス発生回路13から射出された光パルスが入射され、それを入出力端18を介して、測定対象である光ファイバ2～4に向けて射出すると共に光ファイバ2～4間のコネクタ接続部5及び6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光を光-電気変換器15に入射するものである。光-電気変換器15は、光方向性結合器14から射出される反射光及び後方散乱光が入射され、それを電気信号に変換して、ディレイ比較器16に出力する。ディレイ比較器16は、タイミング制御部111から光

パルス発生回路13に出力されるタイミング信号と、光-電気変換器15から出力されるパルス信号とを比較し、その遅延量を解析装置171に出力する。光-電気変換器15から出力されるパルス信号は、各コネクタ接続部5及び6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光に対応するものなので、タイミング制御部111からタイミング信号が出力されてからパルス信号が入力されるまでのディレイタイムを測定することによって、光パルスが入出力端18から出射してから各コネクタ接続部5及び6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光が入出力端18に戻ってくるまでの時間を測定することになる。この時間は、波長の値によって異なるので、この時間を各波長毎に測定し、それを波長で微分することによって、波長分散を測定することができる。

【0033】従って、解析装置171は、ディレイ比較器16から出力されるディレイタイムを順次記憶しておき、タイミング制御部111から出力される解析開始信号に応じて蓄積されたディレイタイムを微分処理して、コネクタ接続部5及び6、ファイバ先端部7の存在する地点における波長分散、並びに光ファイバ2〜4に対応する区間の波長分散をそれぞれ算出する。なお、どのようにして各光ファイバ2〜4に対応する区間の波長分散を算出するのかについては後述する。

【0034】上述したタイミング制御部111、波長可変光源12及び光パルス発生回路13が光パルス生成手段に、光方向性結合器14及び光-電気変換器15が光検出手段に、ディレイ比較器16が遅延量測定手段に、解析装置171が解析手段にそれぞれ対応する。波長可変光源12がレーザ光源に、光パルス発生回路13が光パルス発生部に、タイミング制御部111がタイミング制御部に、光-電気変換器15が光-電気変換器にそれぞれ対応する。

【0035】次に、第1の実施の形態に係る波長分散測定装置10の動作について図面を用いて説明する。図2は、図1の波長分散測定装置10によってコネクタ接続部5及び6、ファイバ先端部7の存在する地点における波長分散、並びに光ファイバ2〜4の波長分散がどのようにして測定されるのかを示す波形図であり、横軸に時間を示す。まず、タイミング制御部111は、波長可変光源12に対して波長 λ_0 の波長設定信号を出力する。これによって、波長可変光源12は波長 λ_0 の光を光パルス発生回路13に出射する。次に、タイミング制御部111は、図2(a)に示すようなタイミング信号（ブローパルス）をタイミング t_0 で光パルス発生回路13及びディレイ比較器16に出力する。光パルス発生回路13は、このタイミング信号の入力に同期したタイミング t_0 で波長 λ_0 の光パルスを光方向性結合器14及び入出力端18を介して光ファイバ2〜4に出射する。光ファイバ2〜4に入射された光パルスは、コネクタ接

続部5及び6並びにファイバ先端部7でそれぞれ反射及び散乱し、光ファイバ2〜4をそれぞれ経由して入出力端18に戻ってくる。入出力端18に戻ってきた光パルスの反射光及び後方散乱光は光方向性結合器14を介して光-電気変換器15に入射され、そこで電氣的なパルス信号に変換される。

【0036】図2(b)は、コネクタ接続部5及び6並びにファイバ先端部7で反射及び散乱した波長 λ_0 の光パルスの戻り光が光-電気変換器15によって変換された場合における信号波形の一例を示す図である。図2

(b)において、信号波形a0はコネクタ接続部5、信号波形b0はコネクタ接続部6、信号波形c0はファイバ先端部7でそれぞれ反射及び散乱した光パルスの戻り光に対応するものである。なお、図1において、コネクタ接続部5にはaの文字を、コネクタ接続部6にはbの文字を、ファイバ先端部7にはcの文字を付して、それぞれの波形との対応を示している。従って、ディレイ比較器16は、光-電気変換器15によって変換された各信号波形a0、b0、c0の立ち上がりタイミングと、タイミング制御部111から出力されるタイミング信号の立ち上がりタイミング t_0 とを比較し、そのディレイタイム（遅延量）d0a、d0b、d0cを測定し、それを解析装置171に出力する。以下同様にして、タイミング制御部111は、波長可変光源12に対して波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の波長設定信号を順次出力する。これによって、ディレイ比較器16は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光パルスに対するディレイタイムd1a〜dna、d1b〜dnb、d1c〜dncを順次測定して解析装置171に出力する。

【0037】以上の一連の処理を行うことによって、解析装置171には波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の光パルスが入出力端18を出射してからコネクタ接続部5及び6、ファイバ先端部7で反射及び散乱して再び入出力端18に戻ってくるまでのディレイタイムが集計される。ディレイタイムd0a〜dnaは、入出力端18から出射された光パルスが光ファイバ2だけを伝搬することによって生じたものであるのに対して、ディレイタイムd0b〜dnbは光ファイバ2及び3を、ディレイタイムd0c〜dncは光ファイバ2〜4をそれぞれ伝搬することによって生じたものである。従って、解析装置171は、光ファイバ3又は4だけを伝搬することによって生じるディレイタイムを次のような演算処理にて求める。光ファイバ3だけを伝搬することによって生じるディレイタイムd0ab〜dnaは、信号波形b0〜bnのディレイタイムd0b〜dnbから信号波形a0〜anのディレイタイムd0a〜dnaを各波長毎に減算することによって得られる。同様に、光ファイバ4だけを伝搬することによって生じるディレイタイムd0bc〜dncも、信号波形c0〜cnのディレイタイムd0c〜dncから信号波形b0〜bnのディレイタイムd0b〜dnb

を各波長毎に減算することによって得られる。

【0038】このようにして得られたディレイタイムは、波長をパラメータとした関数波形として表示することができる。従って、解析装置171はこのディレイタイムの変化を示す関数波形をさらにその波長自身で微分することによって、各地点（コネクタ接続点5及び6、ファイバ先端部7）における波長分散、並びに各光ファイバ3～4の個別の波長分散分布を測定することができるようになる。すなわち、解析装置171は、ディレイタイム $d0a \sim dna$ の変化を示す関数波形を波長で微分することによって接続点5における波長分散を、ディレイタイム $d0b \sim دنب$ の変化を示す関数波形を波長で微分することによって接続点6における波長分散を、ディレイタイム $d0c \sim dnc$ の変化を示す関数波形を波長で微分することによってファイバ先端部7における波長分散を測定することができる。また、解析装置171は、ディレイタイム $d0a \sim dna$ 、 $d0ab \sim dnaab$ 、 $d0bc \sim دنبc$ のそれぞれの変化を波長で微分することによって、光ファイバ2～4のそれぞれの長手方向における波長分散分布を測定することができる。

【0039】なお、第1の実施の形態では、光ファイバ2～4によって構成される光通信経路について説明したが、これ以外の光通信経路のものについても同様に適用できることはいうまでもない。また、解析装置171は、各光ファイバに対応するディレイタイムを求めてから波長分散を測定する場合について説明したが、各地点の波長分散を先に求めて、それに基づいて各光ファイバの波長分散を求めるようにしてもよい。

【0040】〔第2の実施の形態〕本発明を適用した第2の実施の形態に係る波長分散測定装置は、正弦波で強度変調された光パルスを被測定光ファイバに射出し、戻ってきた光パルスの位相を比較することによって複数種類の波長に関する遅延量を求め、それに基づいて波長分散を測定するようにしたものである。

【0041】図3は、第2の実施の形態に係る波長分散測定装置の構成を示す図である。この実施の形態では、波長分散測定装置20を用いて、敷設済の光ファイバ2～4に関する波長分散を測定する場合について説明する。波長分散測定装置20は、タイミング制御部112、波長可変光源12、光パルス発生回路13、正弦波発振器21、正弦波変調器22、光方向性結合器14、光-電気(O/E)変換器15、位相比較器23、解析装置172を含んで構成される。図3において図1と同じ構成のものには同一の符号が付してあるので、その説明は省略する。

【0042】タイミング制御部112は、光パルスの出力タイミングに対応したタイミング信号（プローブパルス）を光パルス発生回路13及び正弦波発振器21に、光パルスの波長に関する波長設定信号を波長可変光源12に、波長分散の解析開始信号を解析装置172にそれ

ぞれ出力する。正弦波発振器21は、所定周波数の正弦波信号をタイミング信号の入力に同期して正弦波変調器22及び位相比較器23に出力する。なお、正弦波発振器21は、所定の波長に対する位相比較が行われている間は正弦波信号を位相比較器23に出力し続ける。正弦波変調器22は、正弦波発振器21から出力される正弦波信号に基づいて光パルス発生回路13から出力される光パルスの強度を変調し、その強度変調された光パルスを光方向性結合器14及び入出力端18を介して光ファイバ2～4に射出する。位相比較器23は、正弦波発振器21から出力される正弦波信号と、各コネクタ接続部5及び6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光に対応する強度変調信号波形との位相を比較し、その位相差信号を解析装置172に出力する。解析装置172は、タイミング制御部112から出力される解析開始信号に応じて、位相比較器23から出力された位相差信号に基づいて、コネクタ接続部5及び6、ファイバ先端部7の存在する地点における波長分散、並びに光ファイバ2～4に対応する区間の波長分散をそれぞれ算出する。

【0043】上述したタイミング制御部112、波長可変光源12、光パルス発生回路13、正弦波発振器21及び正弦波変調器22が光パルス生成手段に、光方向性結合器14及び光-電気変換器15が光検出手段に、位相比較器23及び解析装置172が遅延量測定手段に、解析装置172が解析手段にそれぞれ対応する。波長可変光源12がレーザ光源に、正弦波変調器22が変調器に、正弦波発振器21が発振器にそれぞれ対応する。

【0044】次に、第2の実施の形態に係る波長分散測定装置20の動作について図面を用いて説明する。図4は、図3の波長分散測定装置20によって、コネクタ接続部5及び6、ファイバ先端部7の存在する地点における波長分散、並びに光ファイバ2～4の波長分散がどのようにして測定されるのかを示す波形図であり、横軸に時間を示す。まず、タイミング制御部112は、波長可変光源12に対して波長 λ_0 の波長設定信号を出力する。これによって、波長可変光源12は波長 λ_0 の光を光パルス発生回路13に射出する。次に、タイミング制御部112は、図4(a)に示すようなタイミング信号（プローブパルス）をタイミング t_0 で光パルス発生回路13及び正弦波発振器21に出力する。光パルス発生回路13は、このタイミング信号の入力に同期したタイミング t_0 で波長 λ_0 の光パルスを正弦波変調器22に射出する。これと同じタイミング t_0 で正弦波発振器21は図4(c)のような正弦波信号を正弦波変調器22及び位相比較器23に出力する。正弦波変調器22は、正弦波発振器21から出力された正弦波信号に応じて光パルス発生回路13から入射された光パルスの強度を変調し、図4(b)のような強度変調光パルスを光方向性結合器14及び入出力端18を介して光ファイバ2～4

15

に出射する。光ファイバ2～4に入射した強度変調光パルスは、コネクタ接続部5及び6並びにファイバ先端部7でそれぞれ反射及び散乱して光ファイバ2～4をそれぞれ経路して入出力端18に戻ってくる。入出力端18に戻ってきた強度変調光パルスは光方向性結合器14を介して光-電気変換器15に入射され、そこで電気的な信号に変換される。光-電気変換器15によって変換された電気的な信号は図4(d)～(f)に示すように強度変調光パルスに対応したものである。

【0045】図4(d)は、コネクタ接続部5及び6並びにファイバ先端部7で反射した波長 λ_0 の強度変調光パルスの戻り光が光-電気変換器15によって変換された信号波形を示す図である。信号波形g0はコネクタ接続部5で、信号波形h0はコネクタ接続部6で、信号波形i0はファイバ先端部7で、それぞれ反射した強度変調光パルスの戻り光に対応する。なお、図3において、コネクタ接続部5にはgの文字を、コネクタ接続部6にはhの文字を、ファイバ先端部7にはiの文字を付して、それぞれの波形との対応を示している。従って、位相比較器23は、光-電気変換器15から出力される各信号波形g0、h0、i0と、正弦波発振器21から出力される正弦波信号との位相を比較し、得られた位相差信号p0g、p0h、p0iを解析装置172に出力する。以下同様にして、タイミング制御部112は、波長可変光源12に対して波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の波長設定信号を順次出力する。これによって、位相比較器23は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の場合における位相差信号p1g～png、p1h～pnh、p1i～pniを測定して解析装置172に順次出力する。

【0046】以上の一連の処理を行うことによって、解析装置172には波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の強度変調光パルスが入出力端18を出射してからコネクタ接続部5及び6、ファイバ先端部7で反射及び散乱して再び入出力端18に戻って来るまでのディレイタイムに相当する位相差信号p0g～png、p0h～pnh、p0i～pniが集計される。この位相差信号p0g～png、p0h～pnh、p0i～pniは、正弦波発振器21から出力される正弦波信号に対する相対的な位相を示すもので、解析装置172は、例えば波長 λ_0 の強度変調光パルスが光ファイバ2～4に対して出射された場合に位相比較器23から出力される位相差信号p0g、p0h、p0iを基準として、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の強度変調光パルスが光ファイバ2～4に対して出射された場合に位相比較器23から出力される位相差信号p1g～png、p1h～pnh、p1i～pniがどれだけ遅れているのか、又は進んでいるのかを示すディレイタイムを求める。すなわち、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の強度変調光パルスに対応する位相差信号p1g～png、p1h～pnh、p1i～pniから波長 λ_0 の強度変調光パルスに対応する位相差信号p0g、p0h、p0iを減算し、その減

16

算値と正弦波発振器21から出力される周波数に基づいてディレイタイムの変動値を求める。

【0047】このようにして求められるディレイタイムの変動値は、前述の第1の実施の形態の場合と同様に、入出力端18から出射された各波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の強度変調された光パルスが光ファイバ2だけ、光ファイバ2及び3、光ファイバ2～4をそれぞれ伝搬することによって生じた波長分散に相当するものとなる。そこで、解析装置172は、第1の実施の形態に係る解析装置171と同様にして光ファイバ3又は4だけを伝搬することによって生じるディレイタイムの変化を演算処理にて求め、それを波長で微分することによって各光ファイバ3～4の個別の波長分散分布を求めることができる。

【0048】図5は、第2の実施の形態に係る波長分散測定装置の変形例の構成を示す図である。この変形例に係る波長分散測定装置30は、解析装置172内に同期加算部172aを有し、前述のような位相比較処理を複数回実行して位相比較器23から出力される位相差信号の同期加算を同期加算部172aで算出するようにしたものである。これによって、正確なディレイタイムの測定を行うことができる。上述した同期加算部172aが同期加算手段に対応する。

【0049】なお、正弦波発振器21から位相比較器23に出力される正弦波信号の位相(位相比較の基準となる正弦波信号の位相)を前後にずらして、位相測定のタイミングを可変することによって、光ファイバ3又は4だけを伝搬することによって生じる波長分散を容易に測定することができる。すなわち、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_1$ の強度変調光パルスに対応する位相差信号p0g～pngの値がゼロになるように、正弦波発振器21から出力される正弦波信号の位相を前後にずらして、その位相のずれた正弦波信号と、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の強度変調光パルスがコネクタ接続部6で反射して戻って来た信号波形h0～hnとの位相を比較することによって、光ファイバ3だけを伝搬することによって生じるディレイタイムの変動値を測定することができる。同様にして、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_1$ の強度変調光パルスに対応する位相差信号p0h～pnhの値がゼロになるように、正弦波発振器21から出力される正弦波信号の位相を前後にずらして、その位相のずれた正弦波信号と、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の強度変調光パルスがファイバ先端部7で反射して戻って来た信号波形i0～inとの位相を比較することによって、光ファイバ4だけを伝搬することによって生じるディレイタイムの変動値を測定することができる。このようにして得られたディレイタイムの変動値を波長で微分することによって、光ファイバ3又は4だけによって生じる波長分散を測定することができる。

【0050】〔第3の実施の形態〕本発明を適用した第3の実施の形態に係る波長分散測定装置は、所定の周波数で変調されたコヒーレント光パルスを被測定光ファイ

50

バに出射し、戻ってきたコヒーレント光パルスの位相をヘテロダイン方式で比較することによって複数種類の波長に関する遅延量を求め、それに基づいて波長分散を測定するようにしたものである。

【0051】図6は、第3の実施の形態に係る波長分散測定装置の構成を示す図である。この実施の形態では、波長分散測定装置40を用いて、敷設済の光ファイバ2～4に関する波長分散を測定する場合について説明する。波長分散測定装置40は、タイミング制御部113、波長可変光源12、光方向性結合器31、光周波数シフタ32、光パルス発生回路13、正弦波発振器33、光方向性結合器14、ヘテロダイン光レシーバ34、位相比較器23、解析装置173を含んで構成される。図6において図3と同じ構成のものには同一の符号が付してあるので、その説明は省略する。

【0052】タイミング制御部113は、正弦波発振器33から出力される正弦波信号に同期して、光パルスのタイミング信号（プローブパルス）を光パルス発生回路13に出力する。また、タイミング制御部113は、光パルスの波長に関する波長設定信号を波長可変光源12に、波長分散の解析開始信号を解析装置173にそれぞれ出力する。光方向性結合器31は、波長可変光源12から出力される各波長の光の一部をヘテロダイン光レシーバ34に導く。正弦波発振器33は、所定周波数 f_L （例えば、100MHz～150MHz）の正弦波信号を光周波数シフタ32、タイミング制御部113及び位相比較器23に出力する。なお、正弦波発振器33は、所定の波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ に対する位相比較が行われている間は正弦波信号を位相比較器23に出力し続ける。光周波数シフタ32は、音響光学変調器（AOM）などから構成され、正弦波発振器33から出力される周波数 f_L の正弦波信号に基づいて、光パルス発生回路13から出力される光パルスの周波数をシフトし、シフトされた光パルスを光方向性結合器14及び入出力端18を介して光ファイバ2～4に出射する。ヘテロダイン光レシーバ34は、光方向性結合器31から取り込まれた周波数シフト前の波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の光（周波数 $f_0 \sim f_n$ の光）と、光方向性結合器14から取り込まれた各コネクタ接続部5及び6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光の戻り光、すなわち周波数シフトされた波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の光（周波数 $f_0 + f_L \sim f_n + f_L$ の光）とが入射され、両者の周波数差に相当するビート信号を位相比較器23に出力する。ヘテロダイン光レシーバ34から出力されるビート信号は正弦波発振器33から出力される周波数 f_L と同じ周波数の信号である。しかしながら、ヘテロダイン光レシーバ34から出力されるビート信号は、周波数シフトされた光パルスが入出力端18から出射されて、各コネクタ接続部5及び6やファイバ先端部7で反射及び散乱した結果、反射光及び後方散乱光として再び入出力端18に戻

って来た戻り光に基づいて生成されたものなので、正弦波発振器33から出力される周波数 f_L の正弦波信号に対して通過経路に応じただけの位相差を有する。位相比較器23は、正弦波発振器33から出力される正弦波信号と、ヘテロダイン光レシーバ34から出力されるビート信号の位相を比較し、その位相差信号を解析装置173に順次出力する。

【0053】解析装置173は、タイミング制御部113から出力される解析開始信号に応じて、位相比較器23から出力された位相差信号に基づいて、コネクタ接続部5及び6、ファイバ先端部7の存在する地点における波長分散、並びに光ファイバ2～4に対応する区間の波長分散を前述の第2の実施の形態と同様にして算出する。

【0054】上述したタイミング制御部113、波長可変光源12、光パルス発生回路13、光周波数シフタ32及び正弦波発振器33が光パルス生成手段に、光方向性結合器14、31及びヘテロダイン光レシーバ34が光検出手段に、位相比較器23及び解析装置173が遅延量測定手段に、解析装置173が解析手段にそれぞれ対応する。可変波長光源12がレーザ光源に、光周波数シフタ32が周波数シフタに、正弦波発振器33が発振器に、ヘテロダイン光レシーバ34がヘテロダイン検波器に、それぞれ対応する。

【0055】次に、第3の実施の形態に係る波長分散測定装置40の動作について図面を用いて説明する。まず、タイミング制御部113は、波長可変光源12に対して波長 λ_0 （周波数 f_0 ）の波長設定信号を出力する。これによって、波長可変光源12は波長 λ_0 の光を光方向性結合器31を介して光周波数シフタ32に出射する。光周波数シフタ32は、波長 λ_0 の光の周波数を正弦波発振器33から出力される周波数 f_L の周波数でシフトし、シフトされた周波数 λ_0 （周波数 $f_0 + f_L$ ）の光を光パルス発生回路13に出射する。なお、光周波数シフタ32によって周波数がシフトしたことによって実際には波長 λ_0 は微妙に変化するが、周波数 f_L が周波数 f_0 に比べて非常に小さいのでその変化は無視できる値である。次に、タイミング制御部113は、正弦波発振器33から出力される正弦波信号の位相0に同期してタイミング信号（プローブパルス）を光パルス発生回路13に出力する。光パルス発生回路13は、このタイミング信号の入力に同期して、光周波数シフタ32から出力される波長 λ_0 （周波数 $f_0 + f_L$ ）の光パルスを光方向性結合器14及び入出力端18を介して光ファイバ2～4に出射する。光ファイバ2～4に入射した周波数シフトされた光パルスは、コネクタ接続部5及び6並びにファイバ先端部7でそれぞれ反射及び散乱して光ファイバ2～4をそれぞれ経由して入出力端18に戻ってくる。入出力端18及び光方向性結合器14を介して戻ってきた光パルスと、光方向性結合器31から

導かれた波長 λ_0 （周波数 f_0 ）の光とが入射されたヘテロダイン光レシーバ34は、周波数 f_L のビート信号を位相比較器23に出力する。位相比較器23は、周波数 f_L のビート信号と、正弦波発振器33から出力される正弦波信号との位相を比較し、その位相差信号を解析装置173に出力する。以下同様にして、タイミング制御部113は、波長可変光源12に対して波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の波長設定信号を順次出力する。これによって、位相比較器23は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の場合における位相差信号を測定して解析装置173に順次出力する。

【0056】以上の一連の処理を行うことによって、解析装置173には周波数 f_L で周波数変調された波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の光パルスがコネクタ接続部5及び6、ファイバ先端部7で反射して戻って来た場合の各ディレイタイムに相当する位相差信号が集計される。この位相差信号は、前述の第2の実施の形態の場合と同様に、正弦波発振器33から出力される正弦波信号に対する相対的な位相を示すものなので、解析装置173は、例えば波長 λ_0 の周波数シフトされた光パルスが光ファイバ2～4に対して出射された場合に位相比較器23から出力される位相差信号を基準として、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の周波数シフトされた光パルスが光ファイバ2～4に対して出射された場合に位相比較器23から出力される位相差信号がどれだけ遅れているのか、又は進んでいるのかを示すディレイタイムを求める。

【0057】解析装置173は、例えば波長 λ_0 の周波数変調された光パルスが光ファイバ2～4に対して出射された場合に位相比較器23から出力される位相差信号を基準として、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の周波数変調された光パルスが光ファイバ2～4に対して出射された場合に位相比較器23から出力される位相差信号がどれだけ遅延しているのかを示すディレイタイムを求める。すなわち、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の周波数シフトされた光パルスに対応する位相差信号から波長 λ_0 の周波数シフトされた光パルスに対応する位相差信号を減算し、その減算値と正弦波発振器33から出力される正弦波信号の周波数 f_L に基づいてディレイタイムの変動値を求める。そして、求められたディレイタイムの変動値に基づいて、前述の第2の実施の形態の場合と同様に、光ファイバ3又は4だけを伝搬することによって生じるディレイタイムの変化を演算処理にて求め、それを波長で微分することによって各光ファイバ3、4の個別の波長分散分布を求める。

【0058】なお、この実施の形態では、タイミング制御部113が、正弦波発振器33から出力される正弦波信号に同期して光パルスの出力タイミングを制御する場合について説明したが、必ずしも同期をとる必要はない。なぜなら、位相差比較器23によって検出される位相差信号は、基準となる波長 λ_0 の光パルスに対して相対的にディレイタイムがどの程度変化しているかを示す

ものに過ぎないからである。なお、第2の実施の形態の場合と同様に、正弦波発振器33から出力される正弦波信号の位相を前後にずらして、その位相比較の測定タイミングを可変することによって、光ファイバ3又は4だけを伝搬することによって生じる波長分散を容易に測定することができることはいうまでもない。

【0059】図7は、第3の実施の形態に係る波長分散測定装置の第1の変形例の構成を示す図である。この第1の変形例では、包絡線検波器35を新たに設け、ヘテロダイン光レシーバ34から出力されるビート信号の包絡線を検出し、通常のOTDR（optical time domain reflectometry）測定装置と同様に後方散乱光の強度も同時に測定可能な構成になっている。従って、解析装置174は、包絡線検波器35から出力される波形信号を対数変換して、各光ファイバ2～4の損失及び破断点の位置などの認識が可能な波形を表示する。なお、OTDR測定装置の動作については公知なのでその詳細な説明は省略する。このように波長分散測定装置による波長分散の測定過程でOTDR測定装置によって光ファイバの損失等を測定することによって、コネクタ接続点5及び6、ファイバ先端部7などのような、測定された波長分散の正確な位置を把握することができるようになる。上述した包絡線検波器35が強度測定手段に対応する。

【0060】図8は、第3の実施の形態に係る波長分散測定装置の第2の変形例の構成を示す図である。この第2の変形例に係る波長分散測定装置60は、光ファイバが光アンプでつながった光ファイバアンプ通信システムに対して、その波長分散を測定するように構成されたものである。図8において図7と同じ構成のものには同一の符号が付してあるので、その説明は省略する。図8の第2の変形例が図7のものと異なる点は、被測定光ファイバとして、ループバック方式採用の光ファイバアンプ中継伝送路で構成された光ファイバアンプ通信システムの波長分散を測定するようにした点である。光ファイバアンプ通信システムは、複数の光ファイバ2a、2bと、各中継点に設けられた複数の光アンプ8a、8bと、ループバックバス9とによって構成されている。なお、図ではループバックバス9だけを示したが、実際は複数のループバックバスが設けられている。さらに、この第2の変形例では、波長可変光源36、光パルス発生回路37、光方向性結合器38、エルビウム添加光ファイバ増幅器（Erbium-Doped Fiber Amplifier: EDF A）39及びバンドパスフィルタ3aが新たに設けられている。

【0061】波長可変光源36及び光パルス発生回路37は、海底ケーブルなどを測定する場合に、波長可変光源12から出力される波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の光パルスを送出していないときでも、この光パルスと光強度がほぼ等しく、しかも互いに識別可能な波長 λ_q の非コヒーレントな光パルス（ローディング光）を出射するものである。

これは、光ファイバアンプ通信システム内の光アンプ8 a、8 bによって自動的にゲイン調整が行われるようになるので、波長分散測定装置60から出射される光の強度を一定に保つためである。光方向性結合器38は、光パルス発生回路37から出射されるローディング用の光パルスをEDFA39を介して入出力端181に導入するものである。なお、タイミング制御部114は、光パルス発生回路37及び13に出力するタイミング信号を適宜調整することによって、常に一定強度の光が光ファイバアンプ通信システムに供給されるように制御する。バンドパスフィルタ3aは、検出したい周波数成分以外のノイズを除去するものである。光ファイバアンプ通信システムのように光アンプを用いたものは、戻り光に含まれるノイズ成分が増加する傾向にあるので、バンドパスフィルタ3aはこれらのノイズ成分を有効に除去するために設けられている。

【0062】上述したタイミング制御部114、波長可変光源12、光パルス発生回路13、光周波数シフタ32及び正弦波発振器33が光パルス生成手段に、光方向性結合器14、光方向性結合器31及びヘテロダイン光レシーバ34が光検出手段に、位相比較器23及び解析装置175が遅延量測定手段に、解析装置175が解析手段に、包絡線検波器35が強度測定手段に、光ファイバ2a、2b、ループバックバス9及び光アンプ8a、8bから構成される光ファイバアンプ通信システムが光ファイバアンプ中継線路に、ヘテロダイン光レシーバ34がヘテロダイン検波器に、バンドパスフィルタ3aが帯域通過フィルタに、それぞれ対応する。

【0063】図9は、第3の実施の形態に係る波長分散測定装置の第3の変形例の構成を示す図である。この第3の変形例に係る波長分散測定装置70は、A/D変換器（アナログ—デジタル変換器）3bが正弦波発振器33から出力される正弦波信号を、A/D変換器3cがヘテロダイン光レシーバ34から出力されるビート信号を、それぞれアナログ—デジタル変換して解析装置176に出力するように構成されたものである。図9において図7と同じ構成のものには同一の符号が付してあるので、その説明は省略する。図9において、タイミング制御部115は、A/D変換器3b及び3cに共通のサンプリング信号を出力する。A/D変換器3b及び3cは、このサンプリング信号に同期して、正弦波発振器33から出力される正弦波信号及びヘテロダイン光レシーバ34から出力されるビート信号（アナログ信号）をサンプリングしてデジタルデータに変換し、解析装置176に出力する。解析装置176は、A/D変換器3b及び3cから出力されるデータを保持して所定の演算を行い、両者の位相差を検出し、この位相差に基づいて波長分散を算出する。

【0064】なお、図3、図5～図8の位相比較器23をこのA/D変換器3b及び3cで置き換えて構成して

もよい。このように位相比較器をA/D変換器で置き換えることによって、位相比較処理を容易に行うことができるようになる。

【0065】図10は、第3の実施の形態に係る波長分散測定装置の第4の変形例の構成を示す図である。この第4の変形例に係る波長分散測定装置は、被測定光ファイバに出射される光パルスの周波数（波長）を周波数検出手段で検出し、検出された周波数（波長）に関する遅延量として波長分散を測定するようにしたものである。

図10において図7と同じ構成のものには同一の符号が付してあるので、その説明は省略する。図10のものが図7のものと異なる点は、基準光を出力する波長可変光源41、光方向性結合器42及び43、ヘテロダイン光レシーバ44及び周波数測定器45が新たに設けられている点である。図10において、波長可変光源41は、光通信に使用される波長帯の光を安定的に出射するものであり、波長可変光源12のように細かなレンジで波長を可変できるものではないが、波長可変光源12から出力される光に近い値の波長を段階的に正確に出力できるように構成されている。タイミング制御部116は、光パルスの出力タイミングに対応したタイミング信号を光パルス発生回路13に出力すると共に出射される光パルスの波長に関する波長設定信号を波長可変光源12及び41に出力する。波長可変光源41は、タイミング制御部116から出力される波長設定信号に最も近い値の波長をヘテロダイン光レシーバ44に出射する。例えば、波長可変光源12が、1520nm～1580nmの間で1nmや0.1nm単位で変化させた波長の光を出射することができるのに対して、波長可変光源41は1520nm～1580nmの間で10nm単位で変化させた波長を正確に出力することができる。光方向性結合器31は、波長可変光源12から出射される光パルスをヘテロダイン光レシーバ34に分波する。光方向性結合器42は、光方向性結合器31によって分波された光をさらに分波する。光方向性結合器43は、光方向性結合器42によって分波された光を波長可変光源41から出射された光に合波して、ヘテロダイン光レシーバ44に導入する。すなわち、波長可変光源12から出射された光の一部は、光方向性結合器31、42及び43を介してヘテロダイン光レシーバ44に導入される。ヘテロダイン光レシーバ44は、波長可変光源12及び41から出射される両方の光の合成光によってできるビート信号を周波数測定器45に出力する。周波数測定器45は、光スペクトルアナライザで構成され、ヘテロダイン光レシーバ44から出力されるビート信号の周波数（波長）を測定するものである。周波数測定器45で測定されたビート信号の周波数（波長）は解析装置177に出力される。すなわち、周波数測定器45で測定された周波数は波長可変光源12から出射された光パルスの波長が、波長可変光源41から出射された基準光に対してどれだけ

ずれているかを正確に表したものであり、このビート信号の周波数に基づいて波長可変光源12から出射された光の波長を正確に把握することができる。

【0066】上述した波長可変光源41が基準光生成手段に、光方向性結合器31、42、43、及びヘテロダイン光レシーバ44が差信号出力手段に、周波数測定器45が周波数測定器にそれぞれ対応する。

【0067】なお、本発明は、上記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨の範囲で種々の変形実施が可能である。例えば、図10のように波長可変光源12から出射される光の周波数を波長可変光源41、光方向性結合器42、43、ヘテロダイン光レシーバ44、周波数測定器45を用いて検出するような構成を、図3、図5～図9の波長分散測定装置に適用してもよいことはいうまでもない。

【0068】

【発明の効果】上述したように、本発明によれば、敷設後の光ファイバによって形成される光伝送路の特定箇所又は特定の伝送経路における波長分散を容易に測定することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態に係る波長分散測定装置の構成を示す図である。

【図2】図1の波長分散測定装置によって波長分散がどのようにして測定されるのかを示す波形図である。

【図3】第2の実施の形態に係る波長分散測定装置の構成を示す図である。

【図4】図3の波長分散測定装置によって、波長分散がどのようにして測定されるのかを示す波形図である。

【図5】第2の実施の形態に係る波長分散測定装置の変形例の構成を示す図である。

【図6】第3の実施の形態に係る波長分散測定装置の構成を示す図である。

【図7】第3の実施の形態に係る波長分散測定装置の第1の変形例の構成を示す図である。

【図8】第3の実施の形態に係る波長分散測定装置の第2の変形例の構成を示す図である。

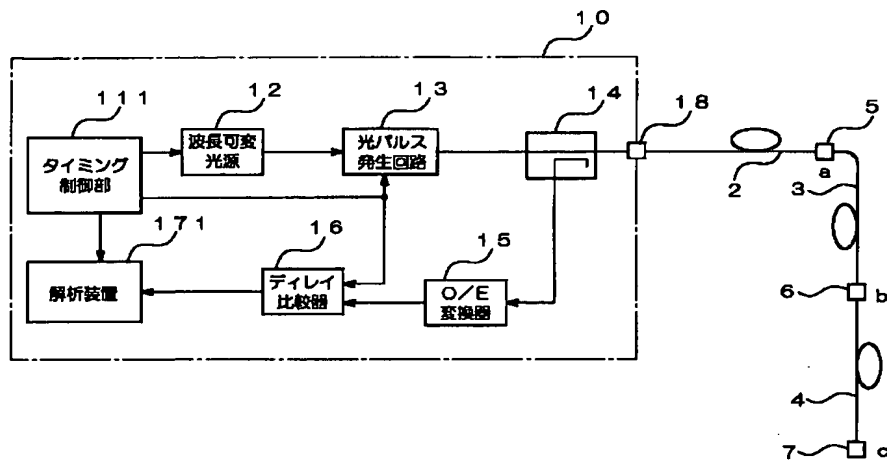
【図9】第3の実施の形態に係る波長分散測定装置の第3の変形例の構成を示す図である。

【図10】第3の実施の形態に係る波長分散測定装置の第4の変形例の構成を示す図である。

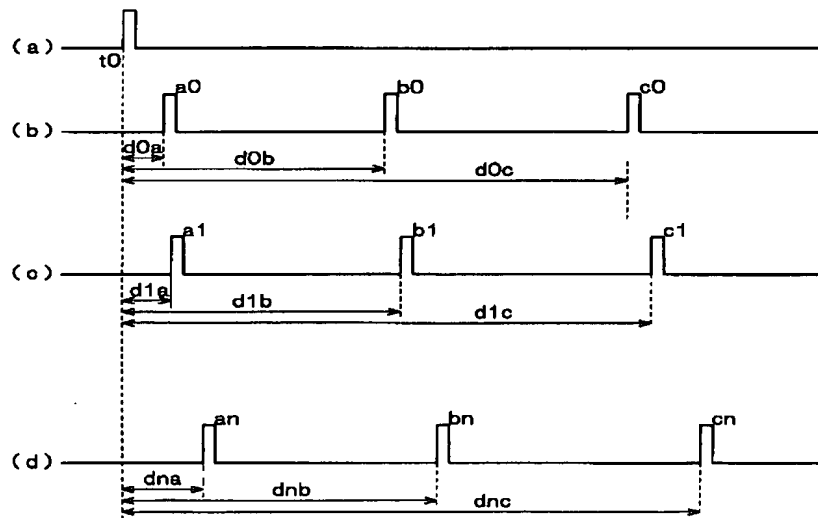
【符号の説明】

- 10 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 波長分散測定装置
- 111, 112, 113, 114 タイミング制御部
- 12, 36, 41 波長可変光源
- 13, 37 光パルス発生回路
- 14, 31, 38, 42, 43 光方向性結合器
- 15 光-電気変換器
- 16 デレイ比較器
- 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177 解析装置
- 20 172a 同期加算部
- 21, 33 正弦波発振器
- 22 正弦波変調器
- 23 位相比較器
- 32 光周波数シフタ
- 34, 44 ヘテロダイン光レシーバ
- 35 包絡線検波器
- 39 エルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)
- 3a バンドパスフィルタ
- 3b, 3c A/D変換器
- 30 2, 3, 4, 2a, 2b 光ファイバ
- 45 周波数測定器
- 8a, 8b 光アンプ

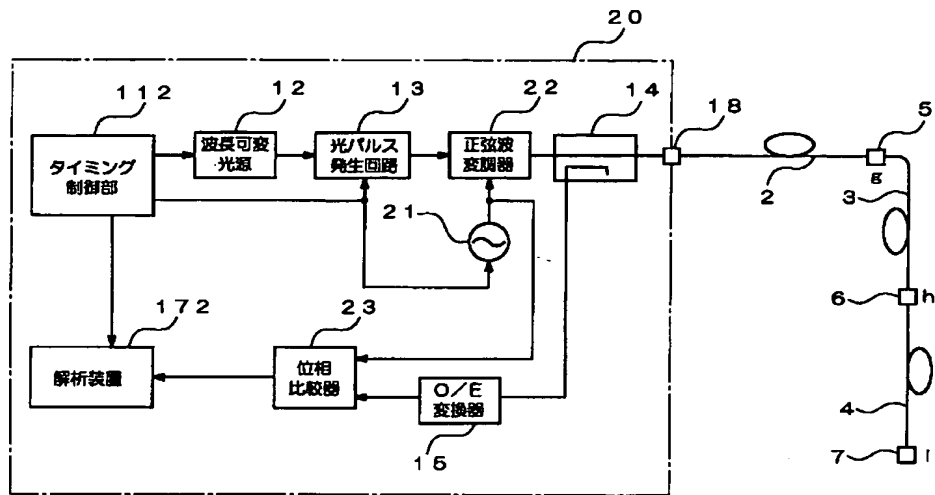
【図1】



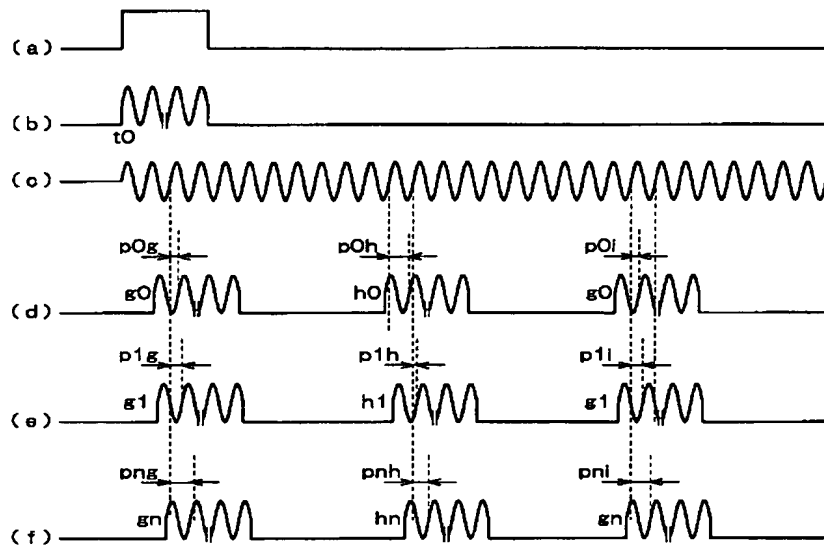
【図2】



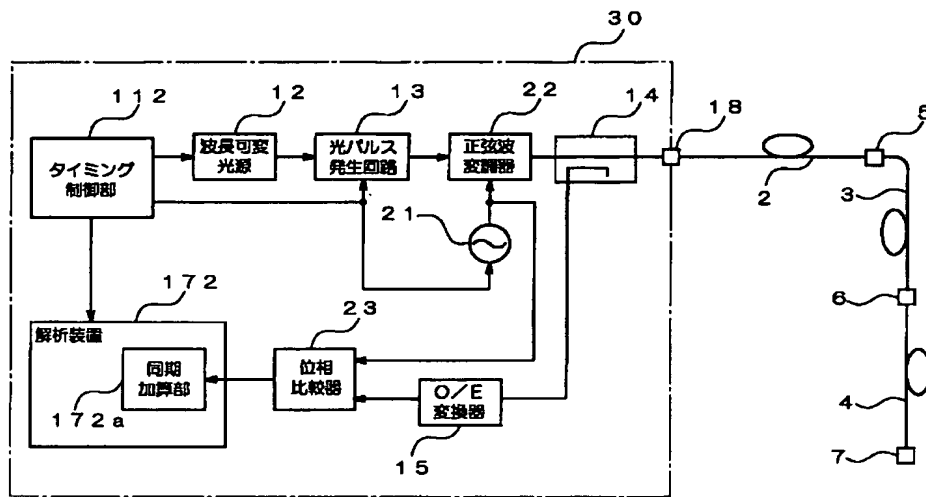
【図3】



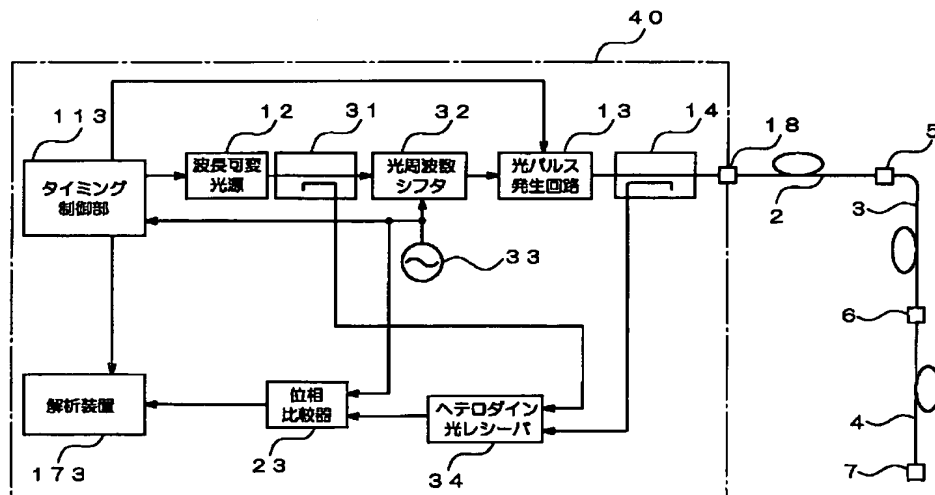
【図4】



【図5】

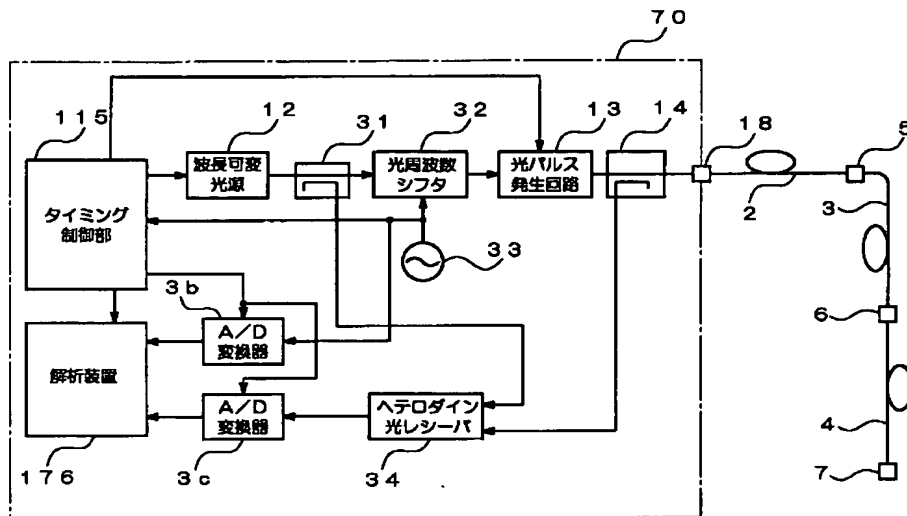


【図6】



[illegible][illegible]

【図9】



【図10】

